

Steel Landscape

鉄の点景

パラボラアンテナ



日本最大の直径 64m、臼田宇宙空間観測所（JAXA）の深宇宙探査用アンテナ。

アンテナの形態のひとつであるパラボラアンテナは、ごく短い波長の電波の送受信に多用される。特に衛星の管制や天体観測には、直径数十メートル級の大型のものが使われる。これら大型のパラボラアンテナの仕組みと、それを支える技術について述べる。

■パラボラアンテナの仕組み

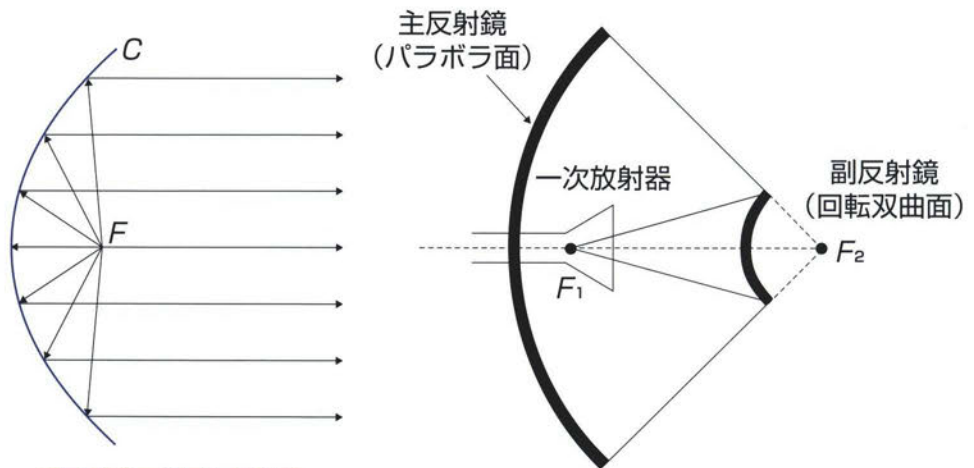
パラボラアンテナは、ディッシュアンテナという別称通り、皿型をした電波の反射鏡を外形上の特徴とし、主にごく短い波長の電波（主にセンチメートル波（SHF））の送受信に使用されるアンテナである。反射鏡の凹面は放物曲面となっており、送信の場合は焦点位置からの電波を放物面の中心軸方向に揃え、受信の場合は一方向からの電波を焦点位置に集める。このため、非常に鋭い指向性をもつ。特に天体観測用（電波望遠鏡）や宇宙探査機の管制用には、微弱な電波を捉えたり、大電力で指令電波を送信したりするために、直径数十メートル級の巨大なものも使われている。

現在、日本国内およびアジア地区で最大のパラボラアンテナは、宇宙航空研究開発機構（JAXA）の臼田宇宙空間観測所（長野県）に設置された深宇宙探査用のもので、直径 64m の反射鏡をもつ。これは現在、小惑星探査機「はやぶさ」や月周回衛星「かぐや」などとの交信に使われ、特に地球から数億 km 離れた小型の「はやぶさ」と交信できるのは、このアンテナのみである。世界ではプエルトリコのアレシボに火山の火口を使った固定式パラボラアンテナで直径 305m、ドイツ・エッフェルスベルクに可動式で直径 100m のものなどが存在する。この 2 つはともに電波望遠鏡として使用されている。

■パラボラアンテナの構造と素材

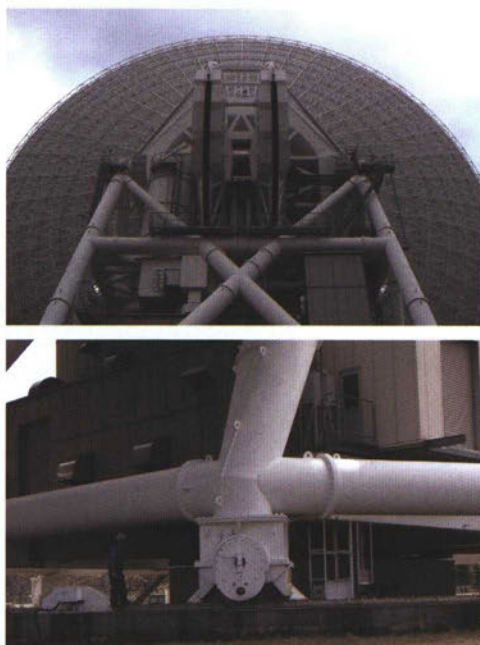
パラボラアンテナの構造上大きな部分を占めるのは、反射鏡である。反射鏡は性能上、放物曲面の歪みを極力抑えなければならない。特に大型パラボラアンテナの場合、自重による変形があり、大面積で風雨の被害も受けやすいため、できる限り強固に作る必要がある。

また、高速の観測衛星を追尾するものは、特に迅速な動作性能が求められる。たとえば JAXA の内之浦宇宙空間観測所（鹿児島県）に設置された科学衛星追跡用の直径 34 m アンテナは、水平回転に $5^\circ / \text{秒}$ 、仰俯に $2.5^\circ / \text{秒}$ と、大きさに比べ非常に高速の動作が可能である。動作速度が上がれば、各部にかかる力も大きくなり、さらに強度が必要になる。



パラボラアンテナの原理

小型のパラボラアンテナでは単純に放物面の焦点位置に電波の送受信用輻射器を置く（図左）。焦点位置に副反射鏡をもち、その対面（もしくはさらに複数の反射鏡を用いてその下）に送受信用輻射器をもつものもある（図右）。副反射鏡が凸面のものをカセグレンアンテナと呼び、大型のパラボラアンテナはこの形式のものが多く。



パラボラアンテナを支える・動かす構造

〔左〕 臼田宇宙空間観測所の直径 64m アンテナ裏面。大型の鏡面に比べ繊細な骨組で、鏡面の歪みを防ぐ。
〔右〕 直径 64m アンテナの動作機構（上：仰俯部、下：水平回転部）。動かす反射鏡が大きいため、仰俯の歯車が 2 連（ダブルセクタ）になっており、それぞれのギアにアンチバックラッシュ用に 2 台のモータをもつ。

▼反射鏡面

反射鏡面は原理的にはどのような金属でも利用可能だが、大型パラボラアンテナでは、軽量化のためアルミニウム系の軽金属を用いることが多い。また電磁波はその波長よりも小さい隙間は透過しないので、求められる周波数帯域が低い（すなわち波長の長い）ものでは、メッシュやパンチングボードを用いることもある。これは軽量化とともに、風による圧力の低減も図ることができる。特に精度が必要なアンテナでは、CFRP（炭素繊維強化プラスチック）を用いて軽量化や強化を図ることもある。

鏡面は放射状・同心円状に多数のパネルを並べて作られるが、自重その他で鏡面全体にわずかな変形が起きるため、通常個々のパネル間には隙間が設けられる。

▼構造材

反射鏡裏面の骨組、さらに構造全体を支える脚部は、特に強度が要求される部分である。これには、一般構造用炭素鋼管（STK）などの鋼材が用いられるのが普通である。たとえば JAXA の内之浦宇宙空間観測所の 34m 径アンテナで総重量は 820t、臼田宇宙空間観測所の 64m 径アンテナでは 1980t にも及ぶが、重量の 9 割以上はこれら鋼材が占める。

反射鏡裏面の骨組は、反射鏡の形状を正しく保持する重要な役割を担うため、部材の位置や接合、断面積など細部に渡り綿密な設計が必要とされる。実際には、いかに強固に作っても鏡面を傾けると自重による変形は避けられず、64m 径アンテナの場合で、縁部で 20mm 程度の変形を起こす。しかし骨組

はホモログス構造と呼ばれる特殊な構造をもち、対応する側の変形でそれを打ち消し、全体として新しい放物面を作るようになっている。これにより、鏡面精度は臼田の 64m 径アンテナで 1.5mm、内之浦の 34m 径アンテナで 0.55mm の誤差（rms = 二乗平均平方根、理論値からの誤差を示す）を実現している。なお、新しい放物面を作ることで生じる焦点位置の移動は、副反射鏡の位置制御で補正される。

▼駆動部

アンテナの水平回転、仰俯は主に DC モータによって行われる。水平回転、仰俯ともに、モータ

は偶数使われることが多い。これは、対になっている伝達系にトルクの差を付けることで歯車を押さえつけ、回転に必要なバックラッシュ（隙間）によるずれをなくすための措置である。近年ではより高速な作動のため、また歯車の磨耗を防ぐために、ダイレクト・ドライブ方式が用いられる例も増えている。

分解能が重要な電波望遠鏡では、中型のパラボラアンテナを多数配置し、合成開口を用いて仮想的に巨大なアンテナとする方式も広まっている。しかし遠距離の探査機との通信に使われるものは大きな利得が必要で、単一のアンテナへのより大型化のニーズもある。パラボラアンテナを支える技術も、さらに進化を続けることになると思われる。

〔取材・文＝川畑英毅〕

取材協力＝三菱電機株式会社

写真提供＝独立行政法人宇宙航空研究開発機構、ただただし



科学衛星追跡用 パラボラアンテナ

内之浦宇宙空間観測所（JAXA）の直径 34m、科学衛星追跡用アンテナ（左）。日射等での変形を防ぐため、脚部には防熱ジャケットが付けられている。© 宇宙航空研究開発機構（JAXA）